



Clara Baffou, Janna Benazout, Enora Brehinier, Juliette Motret et Guillaume Kerjouan

PROJET GUERLÉDAN QUALIFICATION DU LIDAR TOPO-BATHYMÉTRIQUE NAVIGATOR



L'**o**céan en référence ENSTZ

POLYTECHNIQUE



SOMMAIRE





Emission d'une onde lumineuse verte

L'onde se propage à la vitesse de la lumière dans l'air

L'onde atteint la surface d'eau

04

05

03

01

02

L'onde se propage à la vitesse de la lumière dans l'eau

L'onde atteint le fond

Enregistrement des échos => Obtention d'une forme d'onde



Source de la figure : https://www.yellowscan.com/fr/knowledge/does-lidar-work-underwater/

Light Detection and Ranging

Figure 1 : Illustration d'une forme d'onde

Permet la production d'un nuage de points topographiques et bathymétriques pour la cartographie.

EXEMPLE DE NUAGE DE POINTS OBTENU



Figure 2 : Nuage de points obtenu dans le cadre de notre étude (levé du 08/10/2024)

LE LIDAR NAVIGATOR



Profondeur de Secchi

disque de Secchi

profondeur Secchi



Longueur d

Ouverture to faiscea

Angle de

Profondeur n pénétrat

Poids

Figure 4 : Schéma prise de Secchi

Caractéristiques du Navigator

| onde | 532 nm (vert) | |
|----------------|---------------|---|
| tale du u | 4 mrad | |
| vue | 40° | |
| nax. de ion | 2 Secchi | |
| | 3.7 kg | |
| | | 5 |

ZONES D'ÉTUDE



Barrage EDF de Guerlédan

- sombre.

Objectif:

Évaluer les performances du LiDAR sur trois zones distinctes caractéristiques des avec environnementales variées.

- profonde.
- sombre.

Zone Côtière du Mengant

- salée.

• Environnement : Eau douce. • Profondeur de Secchi : 2.60 m. Fond très

Ancienne Carrière de Trévéjean

• Environnement : Eau douce claire, peu

• Profondeur de Secchi : 6.80 m. Fond très

• Environnement : Fort hydrodynamisme, eau

• Profondeur de Secchi : 4 m.

ANALYSE COMPARATIVE DES JEUX DE DONNÉES LIDAR

Objectif : Comparaison des différents traitement internes proposés par YellowScan

Pré - traitement

Filtrage Gaussien : Application d'un ensemble de fonctions gaussiennes sur la forme d'onde.

Détection simple (None) : Détection des échos sans modélisation du signal conservant tous les détails originaux.



CRITÈRES DE COMPARAISON

- Rapidité de traitement
- Fiabilité de la classification interne
- Niveau de bruit
- Profondeur maximale atteinte
- Couverture du fond

Temps de traitement

| Sensibilité | Détection simple | Détection par Gaussienne |
|-------------------------|------------------|--------------------------|
| Low | $10 \min$ | 10 min |
| Medium | $10 \min$ | 30 min |
| High | $10 \min$ | 60 min |

Figure 7 : Temps de traitement pour chaque prétraitement

High

Figure 8 : Ensemble des cartes des classifications pour chaque prétraitement

Les différentes classifications



COHÉRENCE DE LA CLASSIFICATION ET NIVEAU DE BRUIT



Figure 9 : Coupe des classes contenant le fond en fonction du type de détection.

9

PROFONDEUR MAXIMALE DE PÉNÉTRATION



Figure 10 : Coupes dans la zone du Lagon

| Détection simple | Détection par Gaussienne |
|------------------|--------------------------|
| $3.3 \mathrm{m}$ | 3.4 m |
| 8.8 m | $3.8 \mathrm{m}$ |
| $.2 \mathrm{m}$ | 4.4 m |

Figure 11 : Profondeurs maximales au Lagon

Profondeur de pénétration au LiDAR limitée par la couleur du fond.



COUVERTURE DU FOND



Figure 12 : Carte des couvertures d'un levé LiDAR sur la zone du Lagon

CHOIX DE LA DÉTECTION

Objectif:

Compromis entre les critères pour garantir notre but : la qualification des levés

| Critère/Fichier | Low None | Medium None | High None | Low Gaussian | Medium Gaussian | High Gaussian |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|---------------|
| Temps de traitement | 10 min | 10 min | 10 min | 10 min | 30 min | 60 min |
| Fiabilité de la classification | Moyen | Moyen | Mauvaise | Bonne | Bonne | Très bonne |
| Niveau de bruit | Moyen | Moyen | Elevé | Très faible | Faible | Moyen |
| Maximum de pénétration | Faible | Moyen | Profond | Faible | Moyen | Profond |
| Couverture du fond | Moins dense | Moyenne | Bonne | Moins dense | Moyenne | Très bonne |

Figure 13 : Tableau récapitulatif du choix du prétraitement

IMPACT DE LA CORRECTION DE LA REFRACTION

Objectif : Comparaison des jeux de données High Gaussian avec et sans correction de la réfraction



Conclusion : Nécessité de la correction de la réfraction pour une bathymétrie exacte.

Coupe des différences avec et sans correction de la réfraction en fonction de la profondeur

| % Lagon_High | 146 |
|----------------------------|-----|
| sans_correction_refraction | 140 |
| | 145 |
| | 144 |
| | 143 |
| | 142 |
| | 141 |

Figure 15 : Coupe des différences avec et sans correction de la réfraction en fonction de la profondeur

1m de différence entre les deux nuages à 3 m de profondeur



Explication de la méthodologie :



Figure 16 : Schéma explicatif du principe de répétabilité

Explication de la méthodologie :



Figure 17 : Schéma explicatif de l'incertitude verticale

Incertitude maximale admissible pour la position verticale d'un objet sous-marin ou d'un point sondé



Explication de la méthodologie :



Détection d'élément



Figure 20 : Détection d'un élément

Capacité à détecter des éléments de différentes tailles

16

RÉPÉTABILITÉ



Figure 21 : Histogramme et Carte des différences vol 2 - vol 1

17

INCERTITUDE VERTICALE



Figure 22 : Histogramme et Carte des différences vols 1 & 2 - MBES

Incertitude = 0.081m < 0.15m

INCERTITUDE HORIZONTALE



Figure 23 : Incertitude sur le coin 1 de la structure anthropique dans la zone du Mengant

Figure 24 : Incertitude sur le coin 2 de la structure anthropique dans la zone du Mengant

Ellipse de confiance à 95% inscrite dans le cercle de l'ordre exclusif de l'OHI

RECOUVREMENT



Figure 25 : Couverture d'une ligne de vol

Recouvrement supérieur à 200% donc remplit les conditions d'un levé à l'ordre exclusif

DETECTION



Figure 26 : Détection du CUBE au Lagon



Pas d'objet de référence au Mengant

Quelles sont les capacités du LiDAR Navigator de chez YellowScan?

| Levé | Mengant (Bathy) | Lagon (Bathy) | Barrage (Topo) |
|-------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Répétabilité | Oui | 3cm écart vol1-vol2 | 3cm écart vol1-vol2 |
| Incertitude Verticale | Ordre Exclusif | Ordre Exclusif | [-0.063 ; 0.063] (m) |
| Incertitude Horizontale | Ordre Exclusif | Ordre Exclusif | Ellipse inclue cercle 1m |
| Recouvrement | Même objet vu plus de 4 fois | Même objet vu plus de 4 fois | Même objet vu plus de 4 fois |
| Détection d'élément | X | Objet de 1m3 à 3m de profondeur | X |

Figure 27 : Bilan de la qualification des levés

Les algorithmes détectent plus ou moins bien le fond en fonction du signal capté. **Perte de détection :** retour non détectable du fait du bruit avoisinant



Figures 28 et 29 : Formes d'ondes servant d'exemple tirées de nos données

Méthode d'empilement [Mad23]: moyennage des formes d'ondes afin d'améliorer le ratio signal/bruit.



Figure 30 : Principe de la méthode (Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., Nistad, J.-G., Maas, H.-G. (2023))

Zones d'application



Figure 31 : Vue aérienne des zones (en rose les deux zones sélectionnées)



Figure 32 : Vue en coupe des zones

Mise en place d'un algorithme d'empilement simplifié et essai préliminaire sur une zone où le fond est détecté :



Figure 33 : Forme d'onde dans la zone où le fond est détecté

Figure 34 : Forme d'onde issue de l'empilement dans la zone où le fond est détecté

- Amélioration du ratio signal/bruit
- Intervalle de temps entre les retours cohérent avec la hauteur d'eau de la zone : 2,5m (sans correction de la réfraction) par l'analyse et 1,8 m sur le nuage de point corrigé de la réfraction

26

Application à une zone où le fond n'est a priori plus détecté:



Figure 33 : Forme d'onde dans la zone où le fond n'est pas détecté

Figure 34 : Forme d'onde issue de l'empilement dans la zone où le fond n'est pas détecté

- Amélioration du ratio signal/bruit
- Intervalle de temps entre les retours cohérent avec la valeur de la hauteur d'eau potentielle : 5m (sans correction de la réfraction) cohérent avec forte pente et la bathymétrie estimée au niveau de la perte de détection (USV.

27

- Amélioration significative du ratio signal/bruit
- Conversion de l'écart temporel en distance cohérent avec la réalité terrain
- Méthode simplifiée mais prometteuse
- Piste à explorer pour l'amélioration des performances du système : une étude plus rigoureuse et approfondie est à mener pour valider les capacités et la qualité de la méthode appliquée aux données du LiDAR Navigator.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ZhongPing Lee, Shaoling Shang, Chuanmin Hu, Keping Du, Alan Weidemann, Weilin Hou, Junfang Lin, and Gong Lin. Secchi disk depth: A new theory and mechanistic model for underwater visibility. RemoteSensing of Environment, 169:139–149, 2015. 34
- Mader, D., Richter, K., Westfeld, P., Nistad, J.-G., Maas, H.-G. (2023). Analysis of the potential of full-waveform stacking techniques applied to coastal airborne LiDAR bathymetry data of the German Wadden Sea National Park. The International Hydrographic Review, 29(2), pp. 46-64.
- Organisation Hydrographique Internationale. Norme pour les Levés Hydrographiques (S-44, Édition 6.1.0), 2022. 12, 26
- Guillaume SICOT. Introduction to radiative transfer in water, UE 5.2 Remote Sensing, 2024. 34
- YellowScan. YellowScan Navigator datasheet, 2024. 6, 42ent de données, modèles numériques de terrain
- OHI, (2020), S44, Edition 6.1.0
- Bosser, P. (2024). Introduction à l'interpolation spatiale et aux géostatistiques. Cours de l'École Nationale Supérieure des Techniques Avancées de Bretagne.
- [Mad23] : Richter K. Westfeld P. Nistad J.-G. Maas H.-G. Mader, D. Analysis of the potential of full-waveform stacking techniques applied to coastal airborne lidar bathymetry data of the german wadden sea national park, 2023. 37, 38, 42, 47

ANNEXES

30

Répétabilité

LAGON

Répétabilité

BARRAGE

Répétabilité

Séléction de points incertitude horizontale

CUBE

COIN BARRAGE